

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LIBEREC 2008

IVETA MYTYSKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

MECHANICKÉ A TEPELNÉ VLASTNOSTI TKANINOVÝCH KOMPOZITŮ SKLO/POLYSILOXAN

MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF WOVEN COMPOSITES GLASS/POLYSILOXANE

Iveta Mytysková

KHT-609

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jana Salačová

Rozsah práce:

Počet stran textu38

Počet obrázků26

Počet tabulek.....6

Počet stran příloh1

Originální zadání bakalářské práce

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským). Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL. Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo). Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.). Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do její skutečné výše).

V Liberci dne 5. května 2008

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytovali cenné rady a informace při vypracovávání této bakalářské práce. Prvotně bych chtěl velmi poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Janě Salačové za vynikající vedení, odbornou pomoc, připomínky, cenné rady, ochotu a trpělivost při naší vzájemné spolupráci. V neposlední řadě patří poděkování celé mé rodině, která mě všestranně podporovala a povzbuzovala v celém průběhu studia.

ANOTACE

Mechanické a tepelné vlastnosti tkaninových kompozitů sklo/polysiloxan

Bakalářská práce se zabývá studiem mechanických a tepelných vlastností tkaninových kompozitů sklo/polysiloxan. Je jednou z prvních prací tohoto typu. Popisuje se zde výroba kompozitu, vlastnosti jednotlivých složek a vlastnosti konečného kompozitu. V závislosti na vlastnostech jsou zde uvedeny oblasti možného použití v nejrůznějších odvětvích průmyslu. Závěrečná část pojednává o současném stavu firem zabývajících se výrobou a výzkumem kompozitních materiálů v České Republice.

KLÍČOVÁ SLOVA: kompozit, mechanické vlastnosti, tepelné vlastnosti, E-sklo, polysiloxan

ANNOTATION

Mechanical and thermal properties of woven composites glass/polysiloxane

Baccalaureate work deal with research of mechanical and thermal property woven composites glass/polysiloxanes. Work is one of first works of this type. Production of composites, characteristics of single components and properties of final composite are described. Areas of use possibilities are introduced in dependence on their properties here. Final part present the situation of firms, which produce composite material in Czech Republic.

KEY WORDS: composit, mechanical properties, thermal propeties, E-glass, polysiloxane

Obsah

Obsah	7
Úvod	8
1. Cíle práce	9
2. Kompozitní materiály	10
2.1 Tkaninový kompozit.....	10
2.1.1 Způsoby výroby tkaninového kompozitu	11
2.1.2 Způsob výroby prepregu	15
2.2 Tkaninové výztuže.....	16
2.2.1 Skleněná vlákna	17
2.2.1.1 Výroba skleněných vláken.....	17
2.2.1.2 Mechanické vlastnosti E – skleněných vláken	19
2.2.1.3 Tepelné vlastnosti E - skleněných vláken	19
2.2.1.4 Chemické složení skleněných vláken podle druhu skla.....	20
2.3 Matrice.....	20
2.3.1 Mechanické vlastnosti matrice	21
2.3.2 Tepelné vlastnosti matrice.....	22
2.3.2.1 Metylsilikonová pryskyřice – Lukosil M 130	23
2.3.2.2 Metylfenylsilikonová pryskyřice	24
2.3.2.3 Lukosil 901	25
3. Vlastnosti kompozitu sklo/polysiloxan	25
3.1 Mechanické vlastnosti v závislosti na teplotě	26
3.2 Mechanické vlastnosti po oxidaci	29
3.3 Změny vnitřní struktury v závislosti na teplotě.....	32
4. Použití kompozitů	33
4.1 Průmyslové oblasti používající kompozitní materiály	34
4.1.1 Letecký průmysl.....	34
4.1.2 Automobilový průmysl	35
4.1.3 Stavební průmysl.....	36
4.1.4 Kosmonautika.....	37
4.1.5 Bazény.....	37
4.2 Přínosy kompozitů.....	38
4.3 Nejvýznamnější výrobci kompozitů a sklolaminátů v ČR	38
4.3.1 Společnost Havel s.r.o.	41
5. Formy propagace	42
6. Závěr.....	44
Literatura	45
Seznam obrázků.....	47

Úvod

Oblast materiálového inženýrství se zaměřuje, mimo jiné i na nové trendy ve výrobě a využívání konstrukčních materiálů pro všechna odvětví průmyslu. Vývoj těchto materiálů, kterých existuje celá řada druhů, se v 90-tých letech orientuje na skupinu tzv. textilních kompozitů [13, 14]. Vývoj kompozitů podnítily kosmické projekty a náročné letecké konstrukce, které vyžadovaly vysoké měrné hodnoty materiálových vlastností vzhledem k materiálům konvenčním.

Zájem byl vyvolán zejména masovým rozšířením kompozitních materiálů ve výrobě běžných produktů (automobily, sportovní potřeby, nábytek, apod.).

Výhodou kompozitních materiálů je, že mohou zcela nahradit drahé přírodní materiály, jejichž zásoby se povážlivě snižují. Vhodnou volbou jednotlivých složek kompozitu můžeme získat materiály požadovaných vlastností v kvalitě u přírodních materiálů nedosažitelné nebo vytvořit materiály vlastností zcela nových.

Materiály, díky možnosti kombinace široké škály vláken, přízí, či textilií s rozdílnou strukturou, splňují i velmi specifické požadavky na materiálové vlastnosti. Specifické je i použití tkanin.

Pro využití tkanin jako výztuže kompozitních materiálů hovoří především jejich snadná příprava v požadovaném tvaru, nižší náklady na výrobu a zvýšená odolnost vůči případnému mechanickému poškození. Tkaniny jsou velmi variabilním materiálem, umožňují projektantům již při přípravě kompozitu použít kombinace nejrůznějších vláken a vazeb a tím vyrobit výztuž požadovaných vlastností v závislosti na konkrétním využití daného kompozitu.

Pro zvolení vhodného výrobního postupu kompozitního materiálu je důležitá predikce jeho vlastností. Pro jejich modelování je nezbytná důkladná strukturní analýza kompozitních materiálů. Na základě znalosti vztahů mezi strukturou a vlastnostmi kompozitu lze dosáhnout optimálního využití jednotlivých složek.

A však dosud nedostatečný rozsah databáze vlastností kompozitů ztěžuje projektantům proces návrhu konstrukčních aplikací [15].

1. Cíle práce

Hlavním cílem práce je vytvoření souborného přehledu o vlastnostech složek kompozitu sklo/polysiloxan, o výsledných vlastnostech kompozitu a jeho použití. Na první pohled by se mohlo zdát, že existuje spousta teoretického materiálu o této problematice, ale při bližším zkoumání zjišťujeme, že ucelených informací o tomto typu kompozitu je málo. Jedná se totiž o poměrně nový typ tkaninového kompozitu, který by měl v budoucnu nahradit finančně náročnější typy tkaninových kompozitů, např. tkaninový kompozit uhlík/uhlík.

Přehledné shrnutí vlastností složek kompozitu a jeho následné možnosti využití v praxi umožní, že práce bude dále sloužit jako studijní materiál pro diplomanty a doktorandy zabývající se tímto typem tkaninového kompozitu, což je i dalším cílem práce.

Vytvořit přehled výroby a využití kompozitů v nejrůznějších aplikacích, vypracovat seznam výrobců zabývajících se výrobou a výzkumem kompozitů a nastínění současné situace firem v ČR jsou dalšími cíly práce.

Práce bude využita při řešení mnohých problémů textilního materiálového inženýrství týkajících se tkaninových kompozitů ze skleněných vláken. Studium vlastností jednotlivých složek usnadní predikci vlastností navrhovaného kompozitu. Predikce umožňuje ušetření času a finančních prostředků při vývoji a výrobě kompozitu pro konkrétní aplikaci.

Získání velkého objemu informací je provedeno prostudováním množství dostupné literatury a internetových informačních databází, což vyžaduje naučit se detailně systém vyhledávání ve vědeckých časopiseckých databázích.

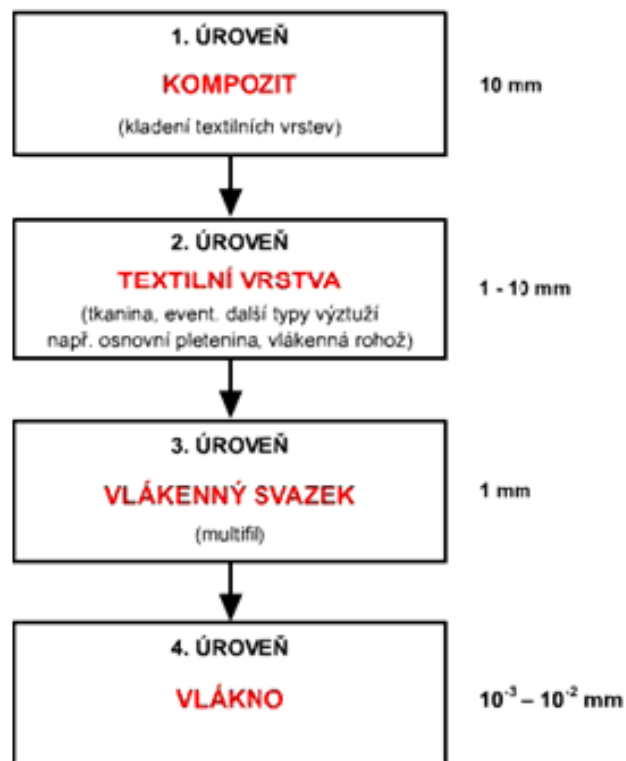
2. Kompozitní materiály

Kompozit je každý materiálový systém, složený ze dvou a více fází, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, dosahující vlastnosti, které nemohou být dosaženy kteroukoli složkou samostatně, ani prostým součtem vlastností, tj. synergický efekt. Při popisu kompozitu jako materiálového systému je potřeba specifikovat vlastnosti materiálových složek systému a geometrií výztuže vzhledem k systému [1].

2.1 Tkaninový kompozit

Pokud je textilní výztuží tkanina, jedná se o tkaninový kompozit. Tkanina představuje systém kolmo kladených vláknenných svazků, vazba vzniká vzájemným proložením těchto kolmo kladených svazků různým způsobem. Způsob proložení určuje typ vazby tkaniny, který má vliv na charakteristické prvky struktury. Takovým klasickým materiálem je např. sklolaminát, kde základní hmotou je epoxidová pryskyřice vyztužená skleněnými vlákny (tkaninou). Výrobky z laminátu jsou lehké a pružně pevné (ve směru vláken). Laminát může konkurovat dřevu (nábytek), oceli (stroje a přístroje), sportovnímu náčiní (oštěpy, tyče pro skok o tyči) a atd. [7].

Na Obr. 1 jsou hierarchicky zobrazeny základní strukturní úrovně tkaninového kompozitu. *Kompozit – prepreg – textilie – příze - vlákno*. Každá z těchto složek je nositelkou vlastních parametrů, které v konečném důsledku ovlivňují výsledné vlastnosti celého kompozitu.



Obr. 1 Hierarchie strukturních úrovní tkaninového kompozitu

2.1.1 Způsoby výroby tkaninového kompozitu

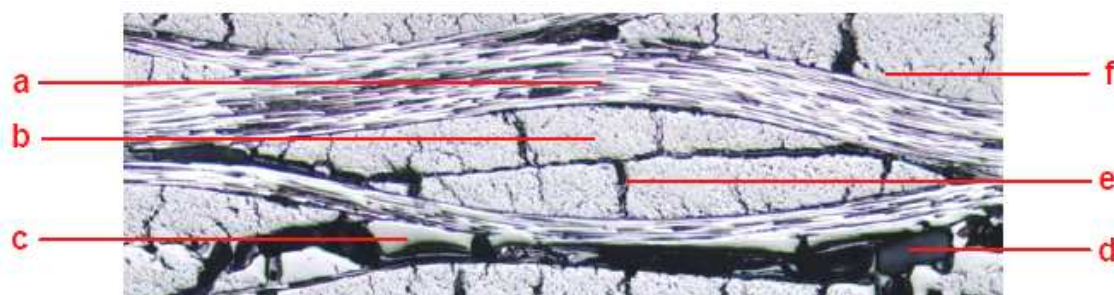
Volbě způsobu výroby tkaninového kompozitu je třeba věnovat značnou pozornost. Technologie je dána především charakterem výrobku a její volba se řídí několika zásadními faktory:

- sériovost dílce
- velikost a členitost výrobku
- kvalita povrchu
- požadované vlastnosti, zejména pevnost a hmotnost
- limit nákladů

Obvykle je třeba volit určitý kompromis, aby bylo možno alespoň do jisté míry vyhovět všem požadavkům. Nebo se těm, které jsou nejdůležitější, co nejvíce přiblížit. Sériovost je jedním ze základních faktorů ovlivňující volbu zpracování. Je zřejmé, že dílce v malých sériích není možno vyrábět strojními technologiemi, naopak velké série není ekonomické vyrábět ručním kladením [19].

Tkaninový kompozit je tvořen několika vrstvami tkaniny nakladenými na sebe. Vrstvy tkaniny jsou vytvářeny provázanými vláknennými svazky. Vláknenné svazky jsou tvořeny několik tisíci vlákny. Každý z uvedených prvků strukturního systému můžeme, po prosycení matricí, považovat za kompozit sám o sobě.

Při výrobě kompozitu s tkaninovou výztuží se připraví nejprve jedna vrstva – tzv. *preg*, pak se navrství několik, *pregů* na sebe a za určitých podmínek se zalisují dohromady a nechají vytvrdnout. viz. Obr. 2.



Obr. 2 Strukturní prvky tkaninového kompozitu: a) podélné vláknenné svazky, b) příčné vláknenné svazky, c) matrice, d) dutiny, e) trhliny, f) póry

Ruční kladení

Způsob vrstvení *pregů* ručním kladením a následným vytvrdnutím pojiva při pokojové teplotě a většinou bez přítomnosti tlaku je způsobem nejjednodušším a nejstarším z dosud nejrozšířenějších technologií, patří mezi tzv. otevřené technologie. Používá se především pro malé a velkorozměrové výrobky od jednoduchých až po značně tvarově složité dílce při nižší sériovosti. Vzhledem k nenáročnosti a nízkým nákladům se tato metoda používá pro výrobu prototypů [21].



Obr. 3 Vrstvení prepregů ručním kladením do neseparované formy

Na Obr. 3 můžeme vidět ruční způsob výroby tkaninového kompozitu. Forma je nejprve natřena základním gelcoatem, což je dvousložková probarvená hmota o tloušťce cca 0,8mm, tvořící po vyleštění hladký povrch. Na gelcoat se klade první vrstva tkaniny, která se prosytí příslušnou matricí a nechá se vytvrdnout. Na první vrstvu se podle požadavků postupně vrství další a další tkaniny. Tato metoda je velmi jednoduchá a je používána u většiny výrobců v ČR.

RTM technologie – resin transfer moulding (modelování přenosem pryskyřice)

RTM technologie, označovaná také jako injekční vstřikování, patří ke strojním technologiím které jsou určeny pro složité a přesné výrobky ve větších sériích. Tato technologie se provádí v uzavřených vyztužených formách za použití plnicího zařízení, přičemž je nutné použít speciální typ sklo výztuže [18].



Obr.4 Forma



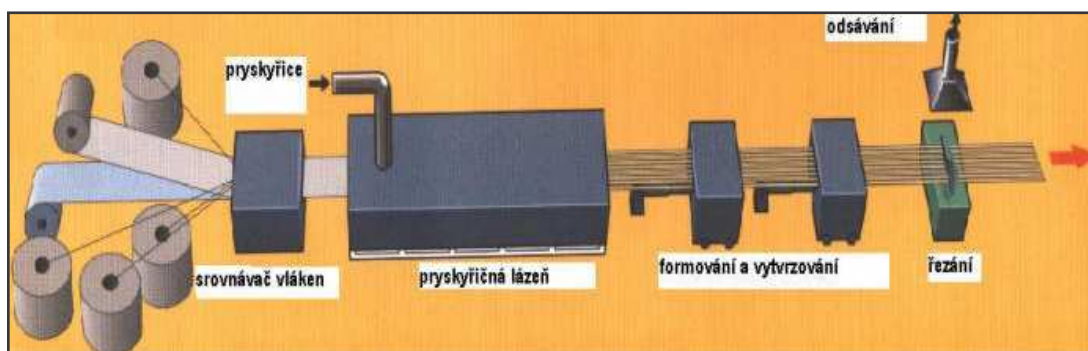
Obr. 5 Hotový výrobek

Laminace pod plachetkou

Tato technologie se v základních rysech podobá RTM technologii s tím rozdílem, že horní díl formy je nahrazen plachetkou (příp. skořepinou). Tato metoda je určena pro rozměrově větší díly, které musí splňovat přísnější pevnostní kritéria. Další výhodou je kvalitnější rubová strana výrobku a vyšší produktivita ve srovnání s ruční laminací. [18]

Vysokoobjemová kontinuální technologie

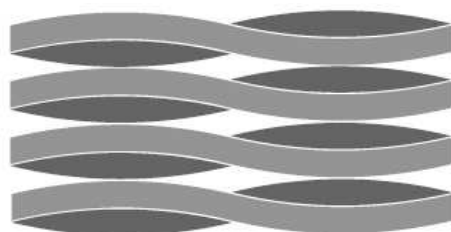
Technologie je označované jako pultruze (tažení) a lisování. Je to kontinuální proces výroby vyztužených plastů. Technologie je založena na tažení svazků vláken, rohoží či tkanin (výztuže) pryskyřičnou lázní, kde dochází k prosycení výztuže. Pryskyřičná lázeň může obsahovat přísady pro zlepšení vlastností. V dalším kroku je prosycená výztuž vedena do formy podle požadovaného výsledného tvaru. Celý kompozit je vytvrzen v kontinuální vytvrzovací hlavě. Na konci je profil rozřezán na požadované délky [10]. Jednoduché schéma této kontinuální linky je na Obr. 6.



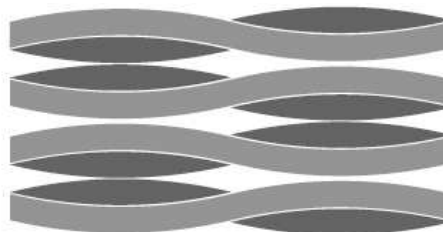
Obr. 6 Kontinuální linka na výrobu výtuhových plastů

2.1.2 Způsob výroby prepregu

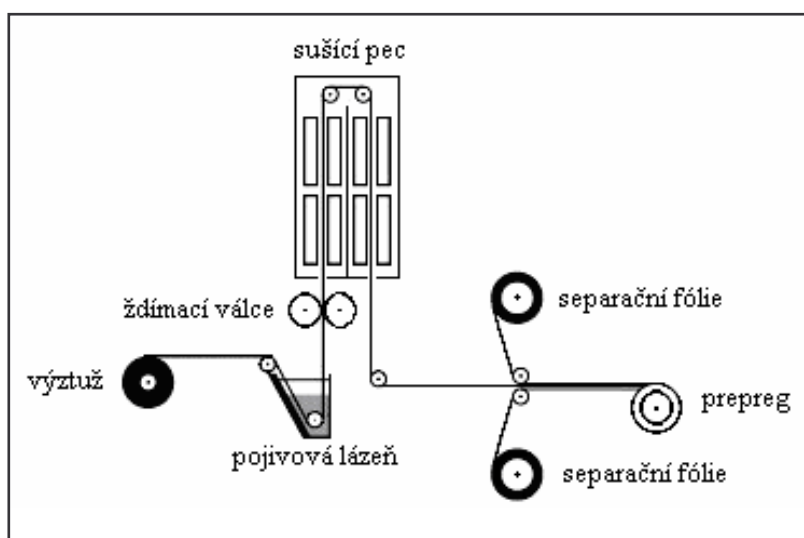
Příprava prepregu spočívá v nanesení pojiva na povrch základní tkaniny. Prepregy tvořeny tkaninami jsou „neplastické“. Většinou jsou impregnovány pryskyřicemi. Obsah výztuže je 50-70%. Takto připravený prepreg se vrství na sebe. Při vrstvení (tj. kladení vrstev výztuže na sebe), mohou být vrstvy tkaniny kladeny fázově přesně (tj. vazné vlny jsou ve fázi, viz Obr. 7), nebo nepřesně (tj. vazné vlny jsou mimo fázi, viz Obr.8). Jednotlivé vrstvy se slisují za určité teploty, tlaku a času. Na velikosti lisovacího tlaku závisí prosycení tkaniny pojivem (pryskyřicí) a skutečný podíl výztuže a matrice, který musí být optimální, aby jednotlivé složky dosáhly maximálního efektu vzájemné interakce [4,5].



Obr. 7 Kladení vrstev ve fázi



Obr. 8 Kladení vrstev mimo fázi



Obr. 9 Výroba tkaninového prepregu v impregnační lázni

Ze zboží válu je odváděna výztužná tkanina do lázně s pojivem, přes ždímací válce, kde se nejen odždímává přebytečné pojivo, ale tak se eliminuje výskyt vzduchových bublin, ovlivňujících vlastnosti výsledného kompozitu. V sušící peci se celý materiál vysuší a je odváděn k dalšímu zpracování nebo uskladněn jako polotovar.

2.2 Tkaninové výztuže

Tkaninové výztuže mají lepší rozměrovou stabilitu než vlákna vyztužené kompozity a to především díky dvousměrné geometrii rozložení (osnova x útek). Poskytuje oproti vláknovým kompozitům daleko větší zaplnění v poměru k tloušťce vrstvy kompozitu, snižuje náklady výroby, zmenšuje náchylnosti k poškození a snadno se přizpůsobuje složité geometrii kompozitu.

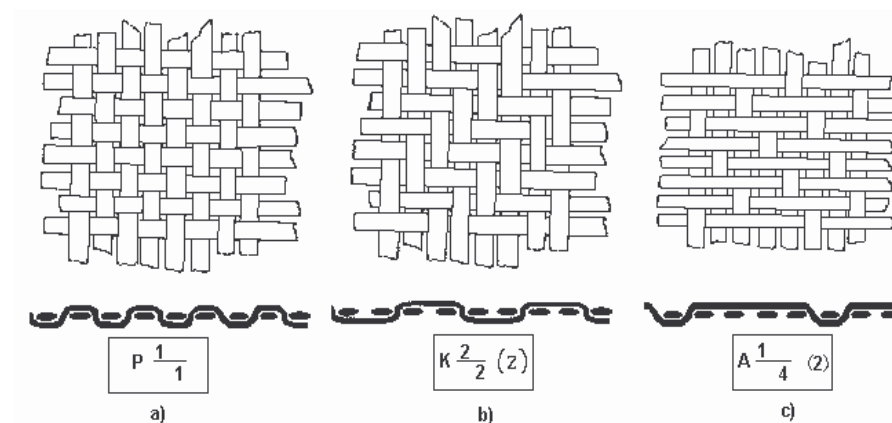
Podle způsobu provázání osnovních útkových nití se tkané výztuže dělí na:

1. výztuže s plátňovou vazbou
2. výztuže s atlasovou vazbou
3. výztuže s keprovou vazbou

Ad. 1. *Plátňová vazba* je užívána pro svou jednoduchost a rozměrovou stabilitu, velkou pevnost a trvanlivost tkaniny, odolnost vůči skluzu vrstev po sobě při lisování, odolnost vůči delaminaci a pro použitelnost tam, kde pevnost použitých vláken není závislá na velikosti ohybového namáhání. Nevýhodou je větší zvlnění zatkaných nití, snížení mechanických modulů při stejném objemovém podílu a vysoká tuhost vazby.

Ad. 2. *Atlasová vazba* je užívána pro svoji dostatečnou poddajnost a snadné přizpůsobení se případným složitým tvarům kompozitu, poskytuje lepší přenos mechanických sil a pro vyšší mechanické moduly při stejném objemovém podílu. Nevýhodou je větší sklon ke skluzu vrstev po sobě při lisování.

Ad. 3. *Keprová vazba* tvoří přechod mezi atlasovou a plátňovou vazbou. Má symetrický průběh vazných vln, avšak svými deformačními vlastnostmi se více podobá atlasové vazbě. Má největší četnost úseků s nulovým úhlem sklonu a malou délku flotujících (napřímených) úseků [3].



Obr. 10 Technologické značení vazeb, vazba plátnová (a), keprová (b) a atlasová (c)

2.2.1 Skleněná vlákna

Skleněná vlákna jsou vlákna anorganická s širokou škálou použití. Ceněná jsou hlavně pro svoje výborné technické vlastnosti jako jsou vysoká pevnost, vysoká hodnota Youngova modulu v tahu, odolnost vůči vysokým teplotám, nehořlavost, dobrá chemická odolnost a dobré elektrické vlastnosti. Vynikajících tepelně a zvukově izolačních vlastností využívá v široké míře stavební průmysl [17].

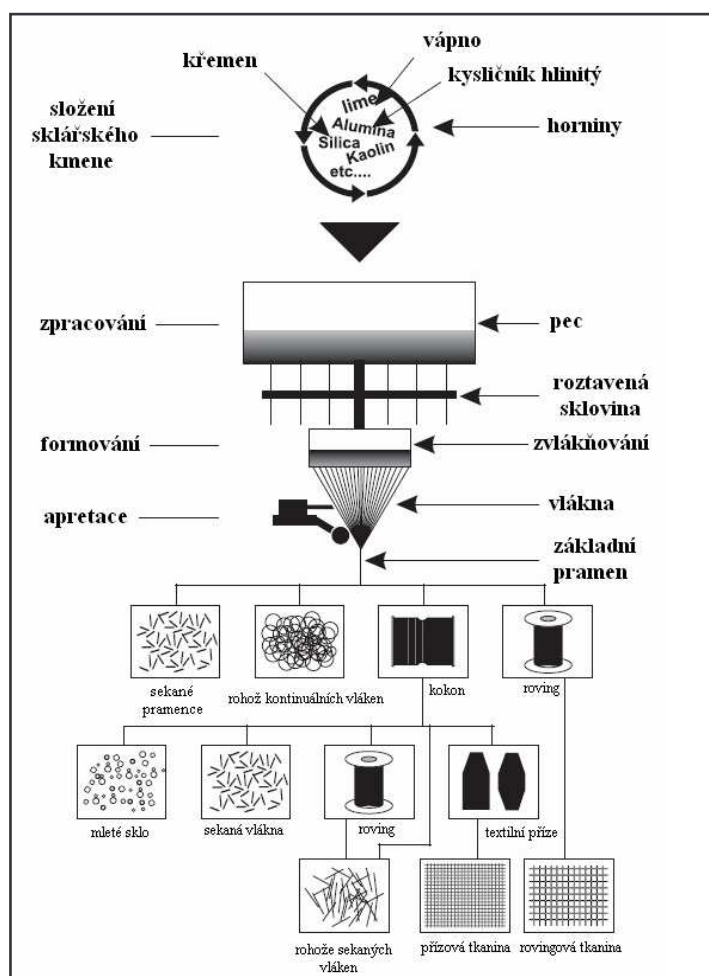
2.2.1.1 Výroba skleněných vláken

Vstupní surovinou pro výrobu skleněných vláken je sklo, buď ve formě sklářského kmene nebo kuliček či tyčinek (Chemické složení viz. 4.2.1.4). Ve světovém měřítku se nejčastěji používá nealkalické sklo typu E, které svými vlastnostmi vyhovuje jak technologii rozvlákňování, tak i hlavním účelům technického použití skleněných vláken, tj. vyztužení plastických hmot a jako elektroizolační materiál.

Skleněná vlákna můžeme vyrobit dvěma způsoby:

1. Dvoustupňový způsob spočívá v tažení vlákna ze skla v kuličkách. Kuličky jsou přetavovány v tryskové peci, která je ve spodní části opatřena 100 až 400 tryskami, od kterých se odtahují jednotlivá vlákna. Pracovní teplota roztavené skloviny se pohybuje mezi 1150 °C až 1300 °C a řídí se druhem roztavovaného skla a výslednou tloušťkou vyráběného vlákna. Odtahovaná vlákna jsou následně zvláknována a vedena přes lubrikační zařízení, kde se nanáší na povrch vláken ochranný film (lubrikace, apretace). Základní pramen se navíjí na papírové cívky a je předkládán k dalšímu zpracování [20].

2. Jednostupňový způsob tažení se od prvního postupu liší především tím, že sklo se v peci nepřetavuje z kuliček, ale přímo se taví ze sklářského kmene ve vanovém agregátu, z něhož se sklovina dopravuje do platinových pícek nátokovými kanály. Tento způsob je produktivnější a levnější, snižují se náklady, pracnost a spotřeba energie potřebné pro přetavování skla v kuličkách. Následný postup je stejný [20].



Obr. 11 Schéma výroby skleněných vláken

2.2.1.2 Mechanické vlastnosti E – skleněných vláken

Mechanické vlastnosti popisují schopnost těles měnit tvar či objem působením různých druhů vnějších mechanických sil. Vnější síly vyvolávají v tělese, tedy i v tkanině, napětí a tím mění svůj tvar – deformují se. Mechanické vlastnosti jsou významně ovlivněny strukturou vláken, dobou namáhání a teplotou, za které je zjišťujeme [7].

Tab. 1 Mechanicko fyzikální vlastnosti E - skleněné tkaniny

Mechanicko fyzikální vlastnosti E – skleněných vláken	
Hustota (při 20 °C) [kg.m ⁻³]	2 600
Navlhavost [%]	1,0
Modul pružnosti v tahu [MPa]	70 000
Pevnost v tahu [MPa]	1 850 až 2150
Pevnost v tlaku [MPa]	300
Protažení při přetržení [%]	4,8
Změna pevnosti v tahu v [%]	
- při relativní vlhkosti 100% za 64 dny	72
- při teplotě 400 °C	52
Test tažnosti monofilu [MPa]	3 400
Bod měknutí [°C]	840
Dolní teplota tuhnutí [°C]	617
Koef. tepelné roztažnosti [10 ⁻⁶]	5,3

2.2.1.3 Tepelné vlastnosti E - skleněných vláken

Jedny z nejvýhodnějších vlastností skleněných materiálů jsou jejich tepelné vlastnosti, které přehledně uvádí tab. 2.

Tab. 2 Tepelné vlastnosti E – skleněných vláken

Tepelné vlastnosti E – skleněných vláken	
Pracovní teplota [°C]	-60 až 460
Měrná tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	0,029 až 0,035

2.2.1.4 Chemické složení skleněných vláken podle druhu skla

Tab. 3 Chemické složení skleněných vláken

Obsah (v %)	E - sklo	R - sklo
SiO_2	53 - 57	58 - 60
Al_2O_3	12 - 15	23 - 25
$\text{CaO} + \text{MgO}$	22 - 26	14 - 17
B_2O_3	5 - 8	-
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0 - 0,6	-

2.3 Matrice

Matrice (pojivo) je spojitá fáze kompozitu, vyplňuje prostory v tkaninách, spojuje a chrání tkaniny před poškozením při zpracování a zároveň je udržuje v požadované poloze. Matrice je určující složka pro chemické a elektrické vlastnosti a výslednou chemickou odolnost kompozitu. Vzniká po nanesení a následném zapracování (vytvrzení) pojiva na výztužné tkanině. Matrice přenáší na tkaninu vnější namáhání, proto je důležitým předpokladem dobrá adheze povrchů matrice a výztuže. Vytvrdzující materiál musí mít nízkou viskozitu, vysokou smáčivost substrátu a maximální výtěžek karbonizačních zbytků [11,12]. Podle druhu pryskyřičného pojiva lze rozdělit kompozity na termoplastové a termosetové.

Termoplasty jsou látky, které při zvýšené teplotě měknou a tečou. Po ochlazení přicházejí zpět do původního pevného skupenství. Byly vyvinuty technologie tažení profilů, které se daly působením tepla dodatečně tvarovat. Přestože mají termoplastové kompozity poněkud horší mechanické vlastnosti i chemickou odolnost,

je rozšířeno jejich využívání ve stavebnictví a architektuře především z hlediska designu [15].

Termosety jsou pojiva, která vznikají vytvrzením chemickou reakcí při působení katalyzátoru a iniciátoru. Správně vytvrzený termoset odolává vyšším teplotám, neměkne a odolává creepu. V porovnání s plastem je však křehčí a nelze jej recyklovat. Nejrozšířenějšími termosety jsou polyesterové pryskyřice a epoxydy. Nejužívanějšími pryskyřicemi pro výrobu stavebních prvků jsou polyesterové a pro náročnější aplikace v agresivním prostředí pro více namáhaná zařízení jsou vhodné vinylestery. Epoxydy jsou využívány především tam, kde má význam jejich malá smršťivost [15]. Jako teplotně odolné materiály můžou sloužit nejrůznější formy polysiloxanů, které odolávají teplotám až 750 °C při zachování svých mechanických vlastností.

2.3.1 Mechanické vlastnosti matrice

Vzhledem k různorodosti způsobů namáhání a složitosti chování látek se mechanické vlastnosti třídí podle různých hledisek. Podle účinku vnějších sil se dělí mechanické vlastnosti na deformační (elastické, vysokoelastické, plastické) a destrukční (např. pevnost, odolnost v oděru). *Deformační vlastnosti* popisují průběh deformace materiálu. *Destrukční vlastnosti* zaznamenávají mechanické porušení materiálu [25,26].

Mechanické vlastnosti polysiloxanových pryskyřic se mění s teplotou ohřívání. Mezi teplotami 400–500 °C jsou mechanické vlastnosti ustálené, k výraznému zvyšování dochází až od teploty 600 °C, kdy se matrice přeměnila na sklo-keramický materiál. Dochází ke zvyšování modulu pružnosti E a modulu pružnosti ve smyku G . U ohybové tuhosti R_m je to jinak, R_m se se stoupající teplotou snižuje, a to pouze do 500 °C, také díky přeměně matrice na výše zmíněný sklo-keramický materiál. Od teploty 500 °C se ohybová tuhost začíná opět pozvolna zvyšovat na hodnotu rovnající se hodnotě R_m v 400 °C [16].

2.3.2 Tepelné vlastnosti matrice

Tepelné vlastnosti polysiloxanů jsou velmi důležité, poněvadž jsou často jediným omezujícím faktorem pro určitou aplikaci. Polysiloxany jsou anorganicko-organické polymery s obecným vzorcem $[R_2SiO]_n$, kde R je organický substituent. Je to teplotně resistantní polymer používaný při aplikaci do 300 °C [24]. V základním řetězci makromolekuly jsou vázány atomy křemíku přes atomy kyslíku. Organické skupiny jsou navázány na atomy křemíku.

Základní strukturální vzorce, na které jsou dle modifikace vázány další sloučeniny (R).



Energie vazby mezi kyslíkem (O) a křemíkem (Si) u je v porovnání s jinými velmi vysoká (viz. Tab.4). Tato vysoká hodnota vazební energie a nasycenost celého řetězce silikonového polymeru je hlavní příčinou stálosti polymeru za vysokých teplot, kdy se již většina organických látek rozkládá. Tato vazební energie hraje velkou roli jak u mechanických vlastností, tak i u dalších vlastností, jako je např. odolnost vůči slunečnímu záření a povětrnostním vlivům.

Tab. 4 Vazební energie mezi vazebními prvky

Vazby mezi prvky	Hodnota vazební energie
Si – O	374 kJ.mol ⁻¹
C – C	245 kJ.mol ⁻¹
Si – C	241 kJ.mol ⁻¹
C – N	203 kJ.mol ⁻¹
C – O	84 kJ.mol ⁻¹

Silikonové pryskyřice jsou připravovány na bázi polymetylsiloxanů nebo častěji smíšených polyfenylmethyilsiloxanů. Za přítomnosti různých rozpouštědel se připravuje řada typů s různými vlastnostmi. Vytvrzené pryskyřice se vyznačují vysokou tepelnou

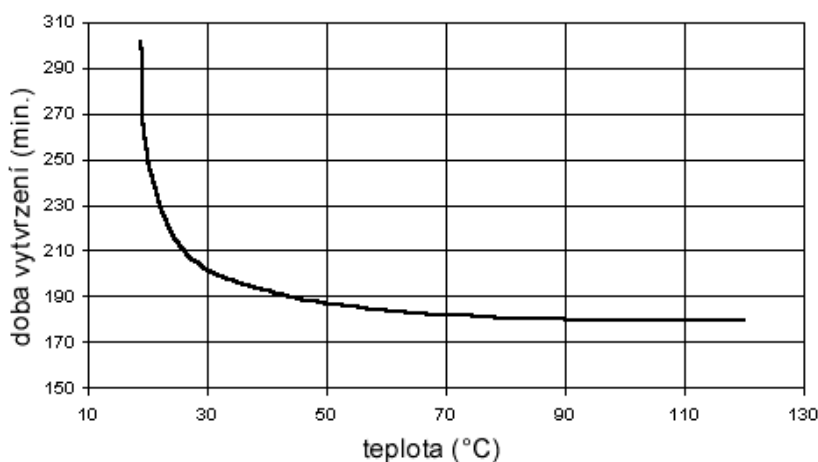
odolností, výbornými elektroizolačními vlastnostmi (zvláště malou změnou elektrických veličin s teplotou), teplotní odolností v oxidačním prostředí až do 300 °C [23].

Uplatňují se jako ochranné laky a smalty, jako pojivo pro speciální lisovací a vrstvené hmoty (kompozity) a jako modifikující složky pro různé plastické hmoty, které zvětšují teplotní rozsah jejich upotřebení, zmenšují nasákavost a zlepšují elektrické vlastnosti [7]. Jedny z nejpoužívanějších jsou metylsilikonová pryskyřice s obchodním názvem Lukosil M130 a metyl(fenyl)silikonová pryskyřice s obchodním názvem Lukosil 901.

2.3.2.1 Methylsilikonová pryskyřice – Lukosil M 130

Představuje moderní typ za pokojové teploty zasychajícího silikového laku a je špičkovým výrobkem ve své kategorii. Je to roztok silikonové pryskyřice v xylenu jako rozpouštědle. Je možné ho vytvrdit teplotou bez použití katalyzátoru. Při pokojové teplotě vytváří Lukosil M130 nelepivý, pružný a mechanicky poměrně odolný film. Tepelným vytvrzením se dosáhne zvýšení jeho tvrdosti, mechanické a chemické odolnosti a stabilizuje se pro trvalé tepelné namáhání.

Hlavní použití Lukosilu M130 je jako pojivo pro výrobu tepelně odolných nátěrových hmot s použitím do 350 °C. Lukosil M130 v nátěrových hmotách zasychá při normální teplotě, což je výhodné zejména u výrobků, které se vytvrzují při vlastním použití. Pro svoje výborné separační vlastnosti je možno Lukosil M130 použít jako mechanicky odolný separační nátěr forem pro odlévání a lisování pryskyřic, plastických hmot a kaučuků [8].



Obr. 12 Závislost doby vytvrzení Lukosilu M130 na teplotě.

Tab. 5 Základní vlastnosti Lukosilu M130

Obsah netěkavých složek [%]	50±2
Měrná hmotnost [kg.m^{-3}]	1000 – 1020
Viskozita [$\text{MPa.s/20}^\circ\text{C}$]	30 – 40
Bod vzplanutí [$^\circ\text{C}$]	27
Doba schnutí	max. 8 hod
Tepelná odolnost	max. 230 $^\circ\text{C}$

2.3.2.2 Metylfenylsilikonová pryskyřice

Obsahuje na rozdíl od metylsilikonových pryskyřic ještě fenylskupiny, které zvyšují jejich tepelnou odolnost při zachování stávajících vlastností metylsilikonových pryskyřic. Pro svoje vynikající elektroizolační vlastnosti, stálosti proti korozi a odolnosti vůči působení chemikálií mají široké použití u výrobců elektrických strojů pracujících ve ztížených podmínkách a tepelné třídě H (180 $^\circ\text{C}$ trvale), jako jsou pohonné jednotky dielektrických lokomotiv, tramvají, elektrických motorů pracujících ve vysoké relativní vlhkosti apod. Dále se používají jako lepicí laky pro výrobu slídových izolantů, azbestových papírů, impregnovaných sklolaminátů a také jako pojivo ve vysoce tepelně stálé nátěrové hmoty.

Všechny metylfenylsilikonové laky vyžadují vytvrzování při teplotách min 200 $^\circ\text{C}$ a většinou ještě s přídavkem katalyzátoru k jejich rychlejšímu vytvrzení. Nanášení laků na předměty se provádí stříkáním, máčením, poléváním a natíráním. Postup tepelného vytvrzení a náběhu vytvrzovací teploty je individuální a je závislý na způsobu nanášení, charakteru výrobku, použitého laku a katalyzátoru.

Methylfenylsilikonových pryskyřic je několik druhů, které jsou označovány podle obecných vlastností. Jejich obchodní názvy jsou Lukosil 150(X), 200(X), 4101, 4102, 4107 a 901 [8].

2.3.2.3 Lukosil 901

Lukosil 901 je roztok metylfenylsiloxanové pryskyřice se zvýšeným obsahem sušiny v toluenu. Tento roztok slouží jako pojivo při výrobě skelných laminátů, které rovněž vyhovují požadavkům tepelné izolační třídy H. Ke každé operaci se dodávají katalyzátory pro snížení doby vytvrzení – Lukosil katalyzátor C63 a Lukosil katalyzátor C64 [8].

Tab. 6 Základní vlastnosti Lukosilu 901

Obsah netěkavých složek [%]	70± 2
Konzistence -20 °C - K4(s)	14-18
Viskozita [MPa.s]	50-100
Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	1130± 20
Bod vzplanutí [°C]	<10
El. pevnost vrstvy filmu [kV/mm]	min. 10
Vnitřní izolační odpor [Ω /cm]	min. 10 ¹⁴
Třída hořlavosti	1

3. Vlastnosti kompozitu sklo/polysiloxan

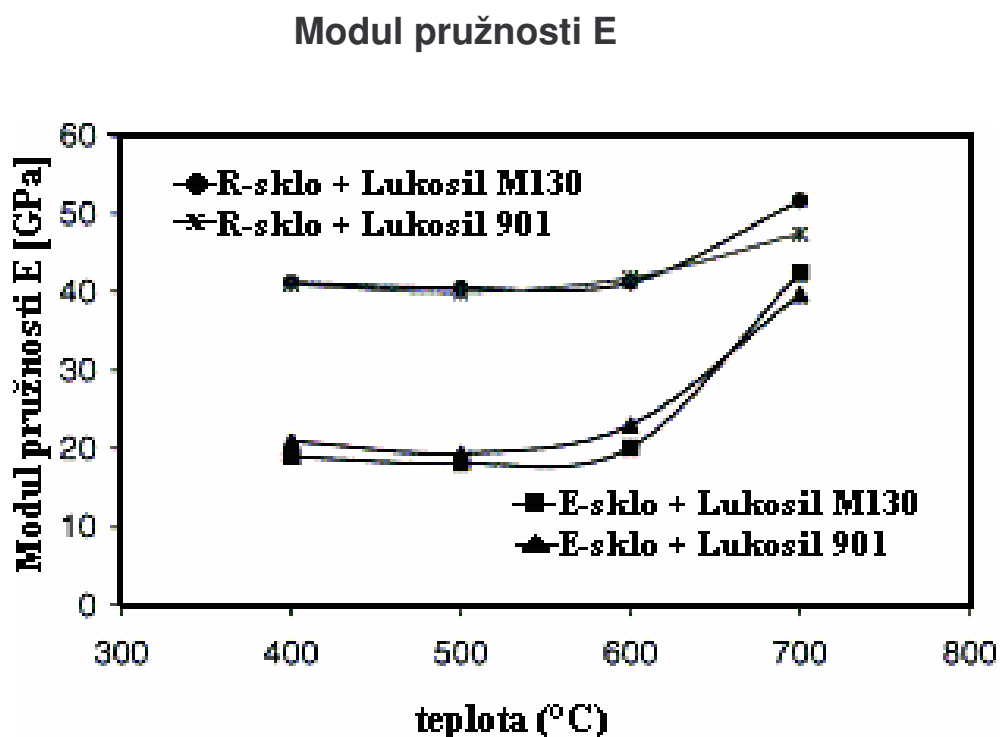
Výsledné vlastnosti kompozitu závisí na řadě faktorů. Je to vazba tkaniny, druhu použité pryskyřice, a především teplota která na kompozit působí během výroby. V následujícím textu jsou uvedeny vlastnosti v měnících se teplotách.

Během zahřívání kompozitu vznikají v matici jednotky SiO₄, SiCO₃, SiC₂O₂, SiC₃O. Jejich molární poměr molů (počet molekulárních částí uvedeného složení proti počtu molekul původní pryskyřice) závisí na teplotě zahřívání [16]. Krom výše uvedených struktur SiCO, je zahříváním vzniká i amorfni uhlík „volný uhlík“. Obsah volného uhlíku a poměry vznikajících jednotek v matici ovlivňují mechanické vlastnosti kompozitu [16]. Některé vlastnosti se zlepšují a některé naopak zhoršují. Volný uhlík je atom, který má tendenci k vzájemnému slučování a tvorbu dalších řetězců. Vznikem

dalších řetězců se zvyšuje modul pružnosti a tvrdost [26]. Obsah volného uhlíku je mnohem vyšší u Lukosilu 901, než u Lukosilu M130 a to v závislosti s obsahem jejich metylových a fenylových skupin na které se váže.

3.1 Mechanické vlastnosti v závislosti na teplotě

Změny v mechanických vlastnostech tkaninových kompozitů (modulu pružnosti E, modulu pružnosti ve smyku G a ohybové tuhosti Rm) při tepelném zpracování jsou ilustrovány na Obr. 13, 14 a 15.



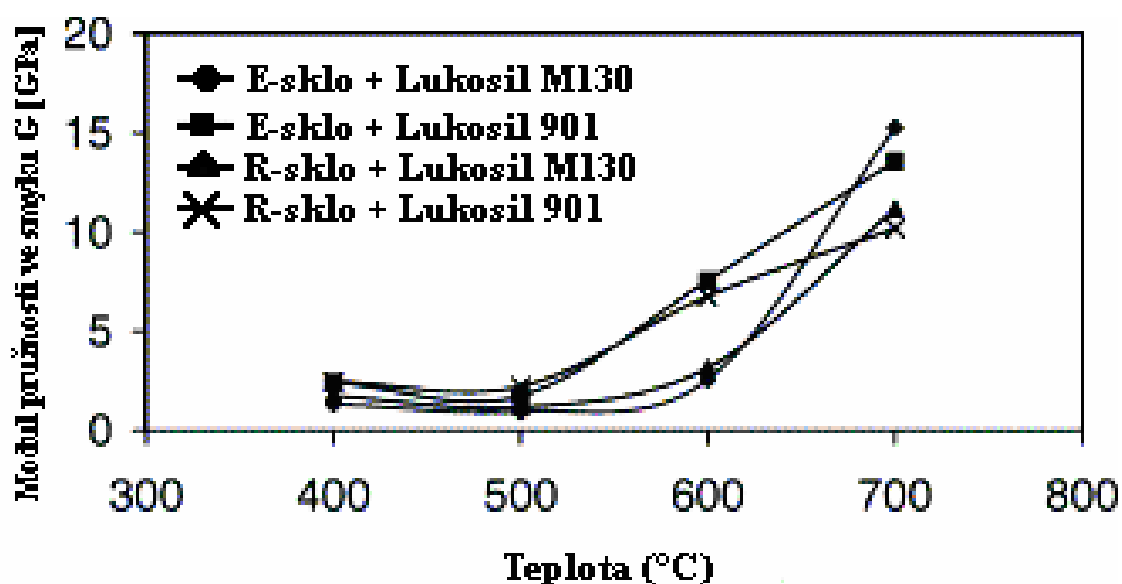
Obr. 13 Modul pružnosti E v závislosti na teplotě

V případě tkaninových kompozitů závisí modul pružnosti E v nižších teplotách na typu tkaniny [16]. To je zjevné z Obr.13. kde kompozit vyztužený plátňovou tkaninou z E-skla má o 50% nižší hodnotu E, než kompozit z atlasové tkaniny z R-skla. U kompozitů s R-skleněnou tkaninou se modul pružnosti E mezi teplotami 400 °C a 600 °C téměř nemění. Nárůst modulu pružnosti E začíná od teploty 600 °C a to především u kompozitu s R-skleněnou tkaninou a Lukosilem M130. Kompozit s Lukosilem 901 má jen mírný nárůst E. U kompozitů s E-skleněnou tkaninou je modul pružnosti E mezi

teplotami 400 °C a 500 °C ustálen. Mezi teplotami 500 °C do 600 °C se E začíná mírně zvyšovat. Rapidní nárůst začíná od teploty 600 °C a končí v 700 °C, kde je hodnota E nejvyšší a zároveň stejná jako u R-skleněné tkaniny v teplotě 400 °C.

V teplotě 700 °C se matrice přeměňuje na sklo-keramický materiál, hodnota E matrice se významně přibližuje hodnotě skleněné tkaniny a tím vzniká kompaktní materiál. Proto v případě E-skleněné plátňové tkaniny se modul pružnosti E začal zvyšovat až na úroveň R-skleněné atlasové tkaniny [16].

Modul pružnosti ve smyku G

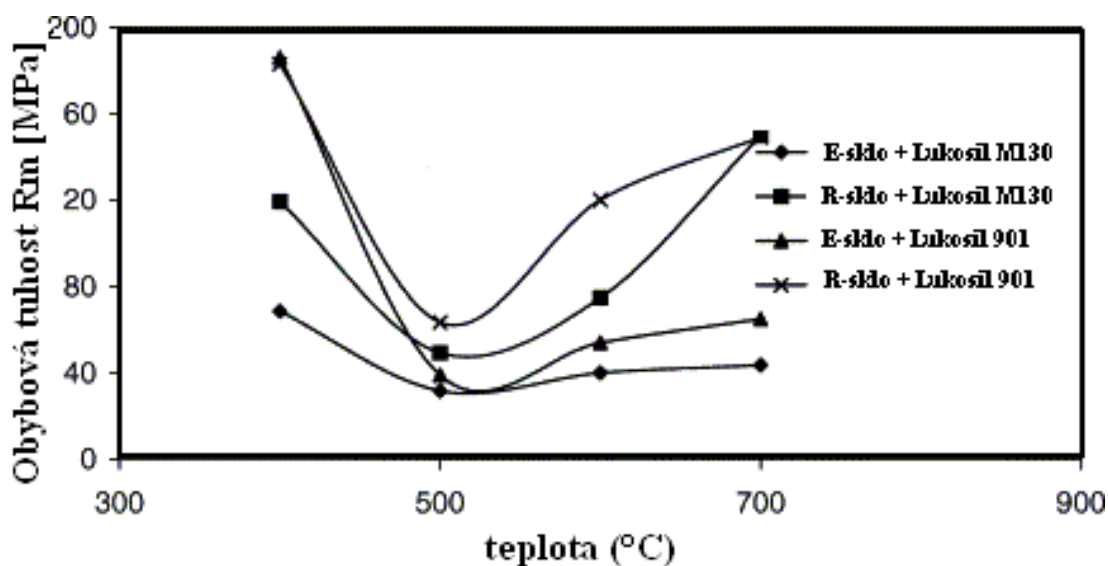


Obr. 14 Modul pružnosti ve smyku, G, v závislosti na teplotě

Obr. 14 je ilustrován modul pružnosti ve smyku G. Velikost hodnoty pružnosti ve smyku G závisí na mechanických vlastnostech matrice. V grafu je pozorováno mezi teplotami 400 a 500 °C nepatrné snížení modulu pružnosti ve smyku G, které způsobuje tvoření trhlin a pórů v matrici a tím se snižuje pevnost matrice [16]. Od teploty 500 °C se modul ve smyku G u všech 4 kompozitů rozchází především v rychlosti růstu G. Oba kompozity s Lukosilem M130 prokazují nízký modul G až do teploty 600 °C. Nárůst se objevuje až za touto hodnotou a to především u E-skleněné tkaniny a Lukosilu M130, který v 700 °C má hodnotu G nejvyšší. U kompozitů s Lukosilem 901 se zvyšování G děje neprodleně za teplotou 500 °C. V teplotě 600 °C mají hodnotu G dvojnásobně vyšší než kompozity s Lukosilem M130. Od teploty 600 °C

se dále stejným tempem zvyšuje už jen kompozit s E-skleněnou tkaninou a Lukosilem 901. Kompozit s R-skleněnou tkaninou a Lukosilem 901 se dostává na maximální hodnotu kompozitu s R-skleněnou tkaninou a Lukosilem M130.

Ohybová tuhost



Obr. 15 Ohybová tuhost R_m v závislosti na teplotě

U ohybové tuhosti R_m , dosahují kompozity se skleněnou tkaninou a polysiloxanovou matricí nižších hodnot, než u běžného karbonovo – polymerního kompozitu (C-P) vyztuženého pouze skelněnými vlákny [16].

Kompozity s Lukosilem 901 mají v teplotě 400 °C nejvyšší hodnotu R_m . Při zvyšování teploty se hodnota R_m začíná výrazně snižovat. Okolo teploty 500 °C mají oba kompozity hodnotu R_m nejnižší. Dále se hodnoty R_m rozcházejí v závislosti na druhu skla. Kompozit s E-skleněnou tkaninou a Lukosilem 901 se dále zvyšuje jen velmi nepatrně. U kompozitu s R-skleněnou tkaninou a Lukosilem 901 se při dalším zvyšování teploty hodnota R_m zvyšuje výrazně.

Kompozity s Lukosilovou M130 matricí vykazují významně nejnižších hodnot kvůli nižší stabilitě původní formy polymeru matrice. Kolem 500 °C se většina výrazných změn odehrává v matrici, to má a následek významné vnitřní napětí, odrážející se v nižších hodnotách R_m . Následné chování materiálu ovlivňuje druh použitého skla.

Kompozit s E-skleněnou tkaninou a Lukosilovou M130 matricí má hodnoty R_m nejnižší u všech 4 uvedených kompozitů. Nejvyšší hodnotu má v 400 °C. Další změny teploty hodnotu R_m výrazně neovlivňují.

Kompozit s R-skleněnou tkaninou a Lukosilem M130 mají hodnotu R_m také nejvyšší v 400 °C. Následné zvyšování teploty způsobuje snižování hodnoty R_m a to do teploty 500 °C. Od 500 °C se hodnota R_m začíná zvyšovat a to až na hodnotu R_m rovnající se hodnotě R_m kompozitu s R-skleněnou tkaninou a Lukosilem 901.

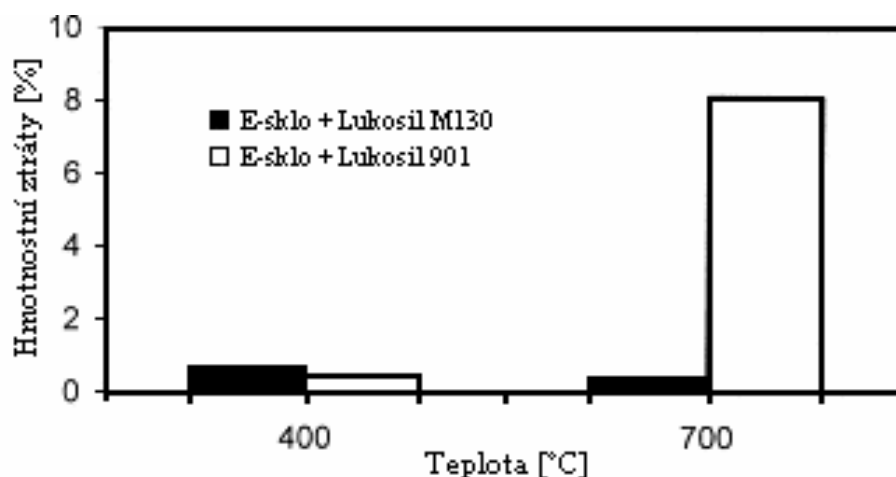
V teplotě 700 °C nedosáhl žádný z kompozitů hodnot R_m rovnajících se hodnotám R_m kompozitu v C – P stavu [16].

3.2 Mechanické vlastnosti po oxidaci

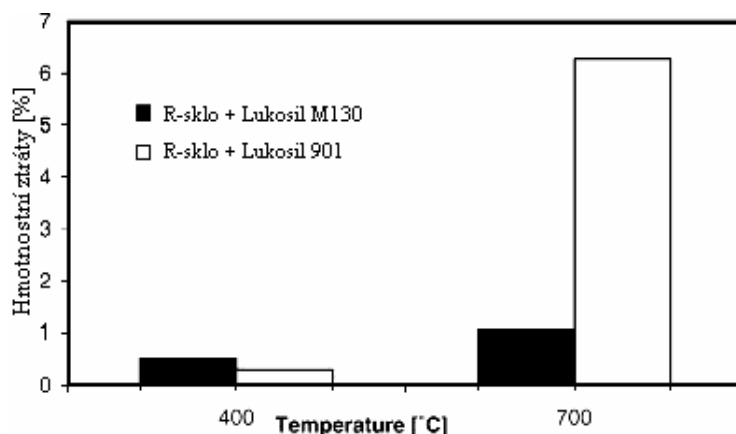
Působením oxidu na zkoušený materiál se mění jeho struktura a tím mechanické vlastnosti. Se stoupající teplotou roste rychlost reakce polysiloxanů s kyslíkem. Následuje rozpad makromolekul a destrukce vnitřní struktury.

Kompozity zahřívané v 500 a 600 °C ukazují, zejména v okruhu působení přechodu mezi polymerem a skleněnou matricí, významné uvolňování matrice a to má za následek nejnižší hodnoty mechanických vlastností.

Za oxidačně odolné kompozity jsou vybrány materiály pyrolyzované v 400 °C a 700 °C a to na základě předchozího textu, kdy v těchto teplotách byl mechanické vlastnosti vždy největší [16].

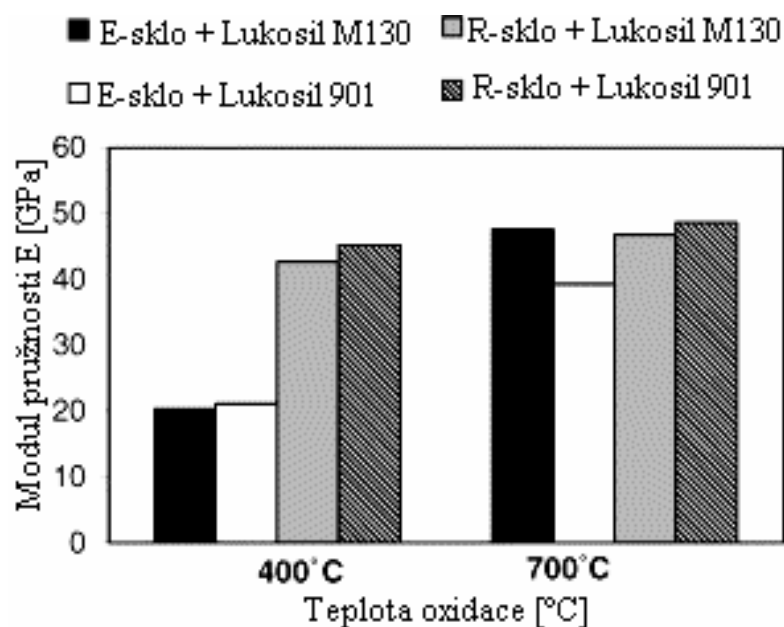


Obr. 16 Hmotnostní ztráty kompozitu po oxidaci v 400 a 700 °C v [%]



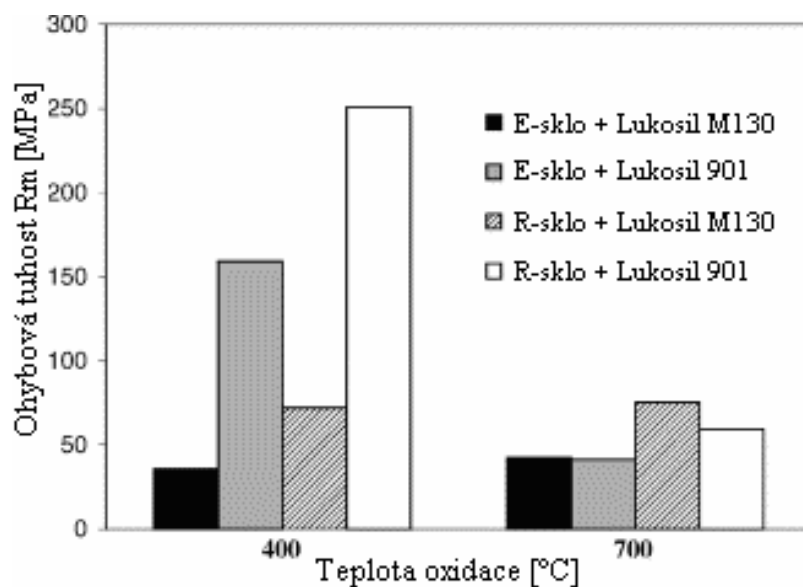
Obr. 17 Hmotnostní ztráty kompozit po oxidaci v 400 a 700 °C v [%]

Obr. 16 a 17 zobrazují hmotnostní ztráty při zahřívání. U všech kompozitů v obou teplotách jsou hromadné ztráty nízké a obecně nepřesahují 1% své původní hmotnosti. Výjimkou je Lukosilu 901 v teplotě 700 °C, který má hmotnostní ztrátou 6–8 % své původní hmotnosti. To způsobuje zvýšený obsahu volného uhlíku při pyrolýze [16].



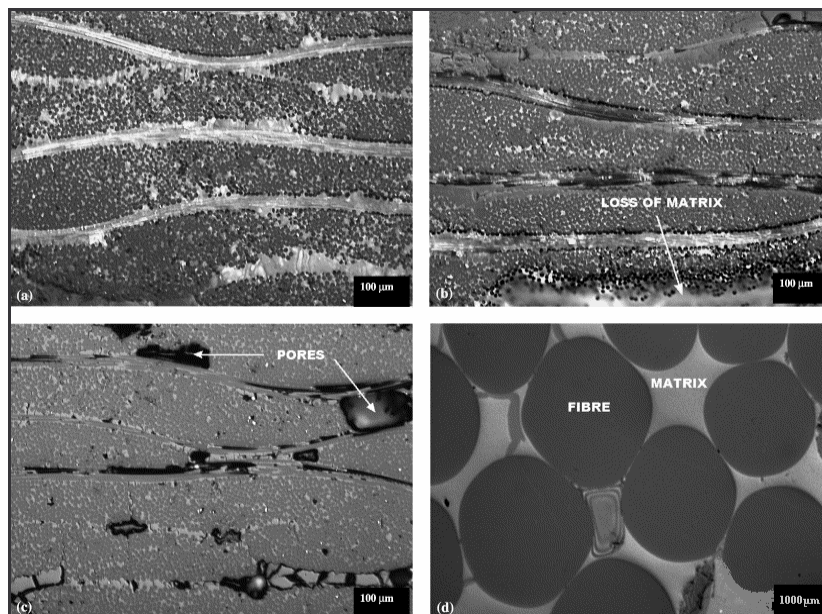
Obr. 18 Modul pružnosti v závislosti na teplotách po oxidaci

Obr. 18 zobrazuje modul pružnosti E po oxidaci, který nebyl oxidací změněn v žádné z teplot 400 a 700 °C, to můžeme vidět i při srovnání obrázku 14 a 19.

Obr. 19 Ohybová tuhost R_m v závislosti na teplotách po oxidaci

Na Obr. 19 je vidět změna ohybové tuhosti R_m po oxidaci. Oxidací v 400 °C se zvyšuje mez tuhosti kompozitu s Lukosilem 901, následkem konzervovacího postupu této matrice. Naopak kompozity s Lukosilem M130 ukazují podstatné snížení meze tuhosti R_m , právě zásluhou degradace materiálu polymeru kyslíkem. Oxidace v 700 °C přináší podstatné snížení R_m pro R-sklem vyztužený kompozit (50%), pro E-sklem vyztužený kompozit se objevilo snížení R_m jen v případě Lukosilu 901 (asi 30%) [16].

3.3 Změny vnitřní struktury v závislosti na teplotě



Obr. 20 Mikro snímky příčných řezů kompozitů založených na R-skle a M130, teplotě 400 °C (a), 901, teplota 500 °C (b), 901, teplota 700 °C (c); 901, teplota 700 °C

Na Obr. 20 vidíme změny struktury kompozitů při měnících se teplotách v příčném řezu. Na snímku a) vidíme nenarušený stav kompozitu při 400 °C, šipka na Obr. b) ukazuje úbytky hmotnosti zahřívání kompozitu při 500 °C. Na obr. c) nám šipky ukazují vznikající dutiny či póry při teplotě 700 °C. Obr. d) je detailní pohled na vlákna a matrici [16].

4. Použití kompozitů

Tempo rychlého zvyšování produkce kompozitů, které započalo přibližně před 50 lety, se v posledních letech ještě podstatně zvýšilo. Rozhodující je zlepšení mnoha vlastností kompozitních výrobků v porovnání s kovovými či jinými konstrukčními materiály. Kompozity naleznete všude tam, kde je potřeba inovací, lehkých konstrukcí a vysoké pevnosti. V potaz se bere především snížení cen pod úroveň klasických konstrukčních materiálů a zjednodušení konstrukcí mnoha výrobků.

Zvětšuje se využití kompozitů ve stavbě námořních lodí i malých plavidel, v kosmonautice, ve stavebnictví, v návrzích nových praktických konstrukcí, které nebylo možné optimálně realizovat z ocelových, dřevěných nebo betonových prvků. Podobně pronikají kompozity do průmyslu silničních a kolejových vozidel, do energetiky a sportu (windsurfová a snowboardová prkna atd.). Kompozitům vzhledem k jejich jedinečným vlastnostem, které můžeme přizpůsobit potřebám, patří budoucnost.

Tento obor je v permanentním rozvoji a neměli bychom ho v zájmu textilního průmyslu podceňovat [15]. Současná situace v navrhování textilních kompozitů se soustřeďuje především na doposud známé uhlíkové materiály a to pro svoje vynikající vlastnosti. Jako pojiv se používají pryskyřičná pojiva nejrůznějšího složení. Přírodní zdroje nejsou nevyčerpatelné a tak je potřeba začít hledat, alespoň v některých aplikacích, náhradu těchto uhlíkových materiálů. Kompozit sklo/polysiloxan se v současné době prakticky nevyužívá a to jen proto, že je to nový materiál. Své místo v průmyslu nebude mít problém najít, mohl by nahradit mnoho doposud drahých surovin. V další kapitole jsou stručně nastíněny průmyslové oblasti používající kompozitní materiály podobného typu jako je sklo/polysiloxan.

4.1 Průmyslové oblasti používající kompozitní materiály

4.1.1 Letecký průmysl

Použití kompozitového dílů v leteckém průmyslu v ČR se soustřeďuje převážně na oblast výroby malých a ultra lehkých letounů. Použití těchto konstrukčních materiálů umožňuje dosažení maximální pevnosti a tuhosti celé konstrukce, při současném zachování požadované nízké hmotnosti letounu [29].

Při výrobě trupu malých sportovních letadel jsou používány kompozitní materiály složené z uhlíkových a skleněných tkanin a s použitím epoxidových pryskyřic. Z hlediska dodržení bezpečnosti posádky jsou používány hybridní tkaniny, které zaručují nárazuvzdornost jak prostoru kabiny, tak sedadel pro posádku. V místě vetknutí křídel do trupu se z důvodu pevnosti používá uhlíkových tkanin. Zbývající část trupu malých sportovních letadel se vyrábí ze skleněných tkanin, kde svými mechanickými vlastnostmi postačují [30]. V tomto případě by nedostačující vlastnosti skleněných tkaniny doplnily právě polysiloxanové pryskyřice, která by vlastnosti uhlíkové tkaniny vykompenzovaly. Na následujících obrázcích (Obr. 21 a 22) je zachycena výroba trupu malého sportovního letadla s použitím hybridních, uhlíkových a skleněných tkanin [30].



Obr. 21 Přední část trupu malého sportovního letadla



Obr. 22 Výroba trupu malého letadla s prostorem kolem posádky

4.1.2 Automobilový průmysl

Textilní kompozity patří dnes v moderní konstrukci automobilů k běžným materiálům. Tento druh materiálů trvale napomáhá lehké konstrukci vozidel, jejich aktivní a pasivní bezpečnosti a optickému a hmatovému aspektu konstrukčních prvků. V moderních automobilech pracují motory v teplotách často překračujících 100 °C. Důvodů zvyšujících teplotu je mnoho, nejčastěji je to kvůli snížení hlučnosti.

Důvodem neustálého zvyšování teplot v motorové části moderních automobilů, je potřeba nahrazení přírodních kaučukových kompozitů odolnějšími silikonovými kompozity. Již více než rok prokazuje vhodnost této inovace sériová montáž do automobilů BMW 335i [31].

To neplatí jen u automobilů. Motory nejrůznějších strojních zařízení, pracují často při velmi vysokých teplotách. Vhodný teplotně odolný kompozit by mohl být možným adeptem spolupodílejícím se na konstrukci takto procujících strojů. Nejen že bychom tkaninovým kompozitem snížili hmotnost, ale nahradili bychom jím i použití mnohdy drahých slitin kovů. Ve strojním průmyslu může být kompozit sklo/polysiloxan zpracován do forem krytů, obložení, karoserií, nárazníků, potrubí i celých konstrukcí v místech, kde se teplota pohybuje až do 700 °C,

Velmi dobré mechanické vlastnosti dovolují použití tkaninových kompozitů při výrobě např. celé karoserie vozů, viz. Obr. 23 a 24.



Obr. 23 Skelet vozu Stanley



Obr. 24 Finální automobil

4.1.3 Stavební průmysl

Dodatečné vyztužování stavebních konstrukcí pomocí externí výztuže je nedílnou součástí moderního stavitelství, především využitelné při provádění rekonstrukcí a zvyšování únosnosti (zatížitelnosti) prvků stavebních konstrukcí. Oblast použití kompozitních materiálů při zesilování a vyztužování konstrukcí je velmi široká a zahrnuje např.:

- zesilování horkovzdušných potrubí
- vyztužování betonových konstrukcí v tahem namáhané oblasti
- vyztužování lícni strany desek nebo trámů pro zvýšení ohybové pevnosti
- obalování sloupů pro zajištění stability a zvýšení průtažnosti
- náprava konstrukčních poruch a nedostatků
- zesilování stěn (betonových nebo zděných) proti účinkům větru, seismiky apod.

Kompozitní tkaniny lze výborně použít k zesilování železobetonových sloupů, trámů, stropů, nádrží, podlah, potrubí apod. Ovinutím prvku kompozitní tkaninou se zajistí nejen zvýšení její osově únosnosti, ale i smykové a ohybové únosnosti. Dalším přínosem ovinutí kompozitními tkaninami je také korozní ochrana sloupu či jiného prvku, jelikož kompozit zamezuje přístupu vzduchu, oxidu uhličitého, chloridů a vlhkosti do konstrukce. Ovinutím kompozitní tkaninou lze dosáhnout navrácení původní zatížitelnosti či účinné stažení trhlin v konstrukci [28].



Obr. 25 Vyztužování potrubí



Obr. 26 Zesílení
železobetonového sloupu

4.1.4 Kosmonautika

Kompozit může sloužit jako tepelná ochrana kosmických lodí. Na mnoha místech kosmické lodi nepřesáhne teplota pláště 400 °C (hřbet a horní strana křídel raketoplánu), což nám dovoluje širší výběr tepelně izolačních materiálů. Spodní plochy jsou vystaveny teplotám v rozmezí od 900 °C do 1400 °C, náběžné hrany a nosové části raketoplánu teplotám až 1600 °C [32].

V místech povrchu raketoplánu, kde je teplota nižší, by mohla postačit ochrana poskytovaná polysiloxanovým kompozitem, který zabraňuje jek přístupu vlhkosti do izolační vrstvy, tak vytváří hladký povrch. Tento silikonový povrch by ještě znásobil mechanickou odolnost celého dílu. Použitím polysiloxanů a skleněných tkanin, které si zachovávají své mechanické vlastnosti i při vysokých teplotách, by mohlo být jednou z variant náhrady za doposud používané materiály.

Zkušenosti s vývojem materiálů sloužících k tepelné ochraně kosmických lodí lze dobře využít i v pozemských podmínkách. Polymerů a pryskyřic odolávajících vysokým teplotám může být použito nejen v tepelných štítech, ale i při výrobě např. nehořlavých příček a sloupů výškových budov [32].

4.1.5 Bazény

Bazény vyrobené ze sklo-tkaninových kompozitů se vyznačují několikanásobně vyšší životností než bazény plastové nebo fóliové. Dosahuje se jí právě díky skloubení výborných vlastností skleněného vlákna a syntetických termosetových pryskyřic. Ke stárnutí materiálů dochází totiž především z důvodu střídání teplot, které má za následek zvětšení objemu hmoty za tepla a smrštění v chladu. To způsobuje následné křehnutí materiálu a tvorbu mikrotrhlin v povrchu hmoty [27].

Můžeme předpokládat, že kompozit sklo/polysiloxan by mohl lépe odolávat jek teplotním změnám, tak UV záření i povětrnostním vlivům. Polysiloxany si zachovávají své mechanické vlastnosti i při velmi vysokých teplotách a to je pro vysokou životnost výrobku zásadním předpokladem. Tkanina, jako vyztužující materiál, bude v konečném výrobku obsažena ve větším zastoupení. To by mohlo snížit i množství používaných pryskyřic a tím i cenu výrobku.

4.2 Přínosy kompozitů

- nižší hmotnost dílů při zachování stávající pevnosti a tuhosti
- vyšší pevnost a menší deformace při stejné hmotnosti
- eliminace změny poměru tuhosti a hmotnosti
- omezení kmitání a hlučnosti (zvýšení materiálového tlumení)
- zvýšení únavové a korozní životnosti
- dosažení optimálního tvaru konstrukčního dílu (klasicky nerealizovatelného)
- minimální teplotní roztažnost
- nižší energetická náročnost výroby

4.3 Nejvýznamnější výrobci kompozitů a sklolaminátů v ČR

- Praha

CHARLES - KOMPOZITY S.R.O.

Společnost aplikuje karbon, kevlar/karbon, sklolaminát, plasty. Používají vakuové, injektážní a RTM technologie. Vyrábí modely, makety, formy, závodní lodě a pro obory radiologie, protetika, tuning, letectví, 3D reklamu, kulisy, kapotáže, bazény, nádrže.

www.charles.cz - Praha 9

ISOMA, s.r.o.

Nabízí kompozity pro elektrickou a tepelnou izolaci. Sklolamináty, slídové mat., kluzné a speciální kompozity. Vyrábí desky, trubky, tyče, profily.

www.isoma.cz - Praha 4

- **Kraj Středočeský**

VEDEX, S.R.O.

Společnost se zabývá zakázkovou výrobou skelných laminátů i jiných kompozitů - nabízí reklamní modely, dekorace a rekvizity pro film a divadlo, plastiky, makety, prototypy, karoserie, kapotáže, vyrábí stínidla, květinové truhlíky, kryty GSM antén a servis výrobků.

www.vedex.cz - Neratovice

LUBOMÍR JÍŠA - COMPOSITE

Vyrábí laminátové lodě, stavební laminát, kádě a nádrže, autodíly. Dodává a vyrábí díly k čističkám odpadních vod, dále nehořlavé kompozity, rybářské lodě, lodě pro odlov kachen. Zakázková výroba - skelný laminát.

www.jisa-composite.eu - Vlašim

- **Kraj Jihočeský**

MILOSLAV HAMERNÍK - PLASTIK

Vyrábí kompozity, lamináty, sklolamináty, formy a modely.

web.quick.cz/BEMH - České Budějovice 3

- **Kraj Plzeňský**

SILHOUETTE GROUP, S.R.O.

Vyrábí kompozity, sklolamináty.

www.silhouette-group.cz – Dýšina

- **Kraj Karlovarský**

RONN-DRAIN-COMPLET, S.R.O.

Vyrábí odvodňovací systémy (žlaby) RONN DRAIN, vsakovací systémy a regulátory průtoku RONN Tech. Dodávají kompozity - rošty, konstrukce, zábradlí a žebříky RONN, vpusti, žlaby z nerez a litinové poklopy, poskytují servis zdarma.

www.Bonn.Hz - Karlovy Vary

- **Kraj Olomoucký**

RK COMPANY

Vyrábí lamináty a kompozity, prodává laminátové a kevlarouhlíkové lodě, pádla, přilby a sportovní vybavení pro florbal (výroba florbalových mantinelů) a basketbal (výroba desek ke košům).

www.rkcompany.com - Postřelmov

A.A.R. PLAST, S.R.O.

Vyrábí a prodává průmyslové kompozity a lamináty.

www.aarplast.cz - Litovel, Kollárova

HAVEL COMPOSITES CZ, S.R.O.

Vyrábí kompozity.

www.havel-composites.cz - Svědlice

4.3.1 Společnost Havel s.r.o.

Jako zástupce firem zabývajících se výrobou a výzkumem kompozitních materiálů mě nejvíce zaujala společnost Havel s.r.o., kterou jsem se posléze rozhodla osobně navštívit. Je to společnost sídlící v Svěsedlicích v Olomouckém kraji. Jako jediná na svých internetových stránkách poskytuje svým klientům moderní webovou aplikaci, která obsahuje mnoho ucelených informací o dostupných technologiích, materiálech a nářadí. Tato webová aplikace jde ruku v ruce s vývojem a je neustále doplňována novými technologiemi. Veřejnost se zde může jednoduchou formou seznámit s celou problematikou kompozitů. V tom vidím velké pozitivum, neboť většina výrobců si své technologie hlídá a není ochotna spolupracovat s širší veřejností či jednotlivcem.

To vše mě vedlo k osobní návštěvě, kde se mi dostalo vřelého přijetí, ochoty a snahy poskytnout informace.

Krédem společnosti je, že vztah nekončí jen dodáním zboží či materiálů, ale pokračuje poskytováním služeb servisu technické podpory a vzděláváním zákazníka v oblasti obsluhy a údržby.

Společnost Havel s.r.o. založil v roce 1989 reprezentant Československa v rychlostní kanoistice, Miroslav Havel. Na začátku měla společnost malý počet zaměstnanců. Její hlavní činností byla výroba speciálního sportovního nářadí z kompozitních materiálů, jako jsou lodě, pádla, vesla atd. Později se zaměřila i na výrobu ostatních dílů a polotovarů. Od roku 2000 společnost rozšířila svoji činnost také na technickou pomoc a servis v dodávkách nových technologií a materiálů. Tato aktivita se stala pro společnost dominantní [19].

5. Formy propagace

Forem propagace je nesčetné množství a jsou děleny podle mnoha hledisek, každá společnost si vybírá takovou formu, která nejvíce vyhovuje danému produktu a okruhu zaměření. Jinak je potřeba propagovat průmyslové výrobky, jinak zboží běžné potřeby a jinak zboží např. luxusní.

Význam propagačních prostředků

Propagační prostředky mají za úkol upoutat pozornost, informovat a přinutit člověka ke koupi. V průmyslu jde spíše o převahu informativní funkce nad přinucující funkcí. V průmyslové oblasti zabývající se kompozitními materiály je okruh potencionálních zákazníků daleko užší a individuálnější. Je zde potřeba daleko rozsáhlejších, technicky přesnějších a ověřených informací. Nemůžeme zde např. používat reklam v masmédiích jako je televize či rozhlas.

Propagační prostředky

Produkty tohoto oboru jsou propagovány především na veletrzích, výstavách či kongresech, kterých se účastní úzký okruh „zasvěcených“ lidí. Dále pak to může být propagace přímým marketingem, kdy obchodní zástupci jednotlivých společností přímo informují své odběratele a potencionální zákazníky.

Základními propagačními prostředky propagující kompozitní materiál mohou být plakáty, letáky, prospekty, brožury, katalogy či propagační články. V digitální formě jsou to pak instruktážní filmy, prezentace či světelné spoty v rámci veletrhů, kongresů a výstav, které informují o zásadních vlastnostech nového produktu. Tyto navrhované prostředky jsou vhodnými způsoby propagace.

V práci je navrhnout plakát (viz. příloha 1) pro nejružnější konference. Např. konference pořádané Svazem zpracovatelů plastů České republiky a Sdružením výrobců kompozitů. Odborným garantem bývá ČVUT v Praze, která má pro tento obor zvláštní ústav a centrum kompozitů. Konference bývají určeny všem pracovníkům, kteří pracují v průmyslu plastů a kompozitů v České republice i zahraničí.

Plakát by měl sloužit především jako upoutávka na *možnost náhrady* dočasně používaných materiálů a ušetření mnohých přírodních zdrojů. Vzhledem k tomu, že tkaninový kompozit sklo/polysiloxan doposud nepoužívá žádná z firem, za celou propagaci tohoto tkaninového kompozitu by mohla stát Grantová agentura ČR či příslušné instituce, které se přímo tímto tkaninovým kompozitem doposud zabývají.

6. Závěr

Práce je jednou z prvních snah o komplexnější přístup k problematice tkaninového kompozitu sklo/polysiloxan.

Systematický výzkum v oblasti tkaninových kompozitů podnítil vznik nových druhů tkaninových kompozitů, nahrazujících drahé materiály. Tkaninový kompozit sklo/polysiloxan je takovýmto materiálem. K většímu rozšíření v průmyslu je potřeba podrobnějšího výzkumu vlastností a studia vnitřní struktury, proto bylo potřeba logického uspořádání současných dostupných informací, aby se na jejich základě dal určit další směr výzkumu.

Tato práce dává přehled momentálně možných dostupných informací o mechanických vlastnostech tkaninového kompozitu a jeho vnitřní struktuře. Velmi významné jsou zejména hodnoty modulu pružnosti E , modulu pružnosti ve smyku G , ohybové tuhosti R_m a jejich závislosti na teplotě. S teplotou a změnami vnitřní struktury úzce souvisí použití.

Na základě nalezených poznatků lze konstatovat, že výhody použití kompozitu sklo/polysiloxan jsou především v teplotně odolných materiálech používajících se v aplikacích až do 700 °C. Materiál si zachovává své mechanické vlastnosti i v oxidačním prostředí, což ještě rozšiřuje jeho základnu využití. Lze usuzovat, že kompozit sklo/polysiloxan bude mít převážné technické využití v nejrůznějších průmyslových oborech, kde se dosud používali drahé uhlíkové či čedičové tkaninové kompozity. Vzhledem ke snižující se zásobě dosud používaných materiálů je zapotřebí začít hledat náhradu. Kompozit sklo/polysiloxan by v mnohých aplikacích touto náhradou mohl být. Podrobnější výzkum, tvorba kompozitů a detailnější využívání tkaninového kompozitu sklo/polysiloxan bude předmětem dalšího výzkumu doktorandů, diplomantů a výzkumníků celého materiálového inženýrství.

Cíle práce byly splněny, bylo získáno značné množství informací, které byly logicky uspořádány a mohou sloužit jako odrazový můstek pro další výzkum.

Literatura

- [1] Bareš, R. : Kompozitní materiály, SNTL, Praha, 1988
- [2] Agarwal B. D., Broutman L.J. : Vláknové kompozity, SNTL, Praha, 1988
- [3] Salačová J.: Možnosti modelování mechanických vlastností kompozitů s textilní výztuží, TU Liberec, 2001
- [4] Sabate G. : Karbon – Karbon composites, Chapman & Hall, London, 1993
- [5] Balík K. : Technologie přípravy výrobků u vláknového kompozitního materiálu C-C, ÚSMH AV, Praha, 1993
- [6] Palán M. : Doktorská disertační práce - Tepelné vlastnosti kompozitů C/C vyztužených textilní tkanou výztuží, TU Liberec, 2002
- [7] Uhrová Š. : Diplomová práce – Termomechanika kompozitních materiálů s čedičovou výztuží, TU Liberec, 2006
- [8] Kulíšková G.: Diplomová práce – Tepelné vlastnosti vláknových kompozitů s keramickou maticí, TU Liberec, 2004
- [9] Bültjer U. : The Production of Glasfibre Reinforced Plastics (GRP) in Europe 1999/2000, sborník XXI. Vyztužené plasty, DT Plzeň 2001, str. 8
- [10] <http://www.prefa-kompozity.cz/technologie/informace-o-technologie/> (citováno dne 15.3.2008)
- [11] Seminář o uhlíkových materiálech (vlákna, textilní výztuže, textilní kompozity), s. 46-106, TU Liberec, Katedra textilních materiálů, 1998
- [12] Veselý K. a kolektiv : Polymerní kompozity, ÚMCH ČSAV, Praha, 1990
- [13] Bogdanovich, A. E. – Pastore, C. M.: Mechanics of Textile and Laminated Composites, Chapman & Hall, London, 1996
- [14] Chow, T. W. – Ko, F. K.: Textile Structural Composites, Elsevier, 1989
- [15] Technický Týdeník Springer Media CZ, Kompozity zdroj stále nevyčerpatelných konstrukčních možností, Praha, 2/2006,
<http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=1026&mark>
- [16] Balík K. a kol. : Preparation and oxygen resistance of 2D composites based on E-glass, R-glass, and siloxanes, Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, 2003
- [17] Grégr J., Skleněná vlákna - historie a současnost, 2003
<http://www.czechdesign.cz/index.php?status=c&clanek=34&lang=1>
- [18] <http://www.form-composite.com/technologie.htm> (citováno dne 18.3.2008)
- [19] www.havel-composite.cz (18.3.2008)
- [20] Švédová J.: Technické textilie, SNTL, Praha 1978

- [21] http://www.ellri.cz/e_fram1.htm (citováno dne
- [22] Lidařík M. a kol., Epoxidové pryskyřice, SNTL, Praha 1961
- [23] Mleziva J. a kol.: Polymery – výroba, struktura vlastností a použití,
- [24] Kolář F. a kol., Kinetics of combustion and pyrolysis of polysiloxanes, Materials Chemistry and Physics 85 (2004) 458 - 461, Prague, 2004
- [25] Košková B.: Struktura a vlastnosti vláken, TU v Liberci, Liberec 1989
- [26] Krebsová M., Nauka o polymerech, Vysoká škola strojní a textilní, Liberec 1978
- [27] <http://bazeny.bydleni.cz/clanek/Laminatove-bazeny> (citováno dne 5.5.2008)
- [28] Dohnalem P., Kompozitní tkaniny od firmy BETOSAN® pro zesilování konstrukcí, 2006/4, <http://si.vega.cz/pdf/1874.pdf>
- [29] Baumruk M., Kompozitové materiály v leteckém průmyslu v ČR, Ústav Automobilů, kolejivých vozidel a letadlové techniky, Září 2006, http://www.kompozity.info/clanky/compdb/kompozitove_mat_v_let_prumyslu_CR.pdf
- [30] Kábrt, M.: Kompozitní materiály v konstrukci malých sportovních a UL letounů v ČR, Litomyšl, Vanessa Air, 2000
- [31] MM Průmyslové spektrum, 1/2008, Uložení motoru se silikonovými prvky, str.50, <http://www.mmspektrum.com/clanek/ulozeni-motoru-se-silikonovymi-prvky>
- [32] Lejček L., Tepelná ochrana kosmických lodí při letu atmosférou, Publikováno v časopise Letectví a kosmonautika 54 (1978), č. 16, s. 624. <http://mek.kosmo.cz/zaklady/technika/ochrana.htm>

Seznam obrázků

- Obr. 1 Hierarchie strukturních úrovní tkaninového kompozitu (Kutlak J., Počítačová animace struktury tkaninového kompozitu C/C, TU v Liberci, 2007)
- Obr. 2 Strukturní prvky tkaninového kompozitu: a) podélné vlákenné svazky, b) příčné vlákenné svazky, c) matrice, d) dutiny, e) trhliny, f) póry (Kutlak J., Počítačová animace struktury tkaninového kompozitu C/C, TU v Liberci, 2007)
- Obr. 3 Vrstvení prepregů ručním kladením do neseparované formy (www.havel-composite.cz)
- Obr. 4 Forma (<http://www.kompozity-michalik.cz>, citováno 15.4.2008)
- Obr. 5 Hotový výrobek (<http://www.kompozity-michalik.cz>, citováno 15.4.2008)
- Obr. 6 Kontinuální linka na výrobu výztuhových plastů (<http://www.prefa-kompozity.cz/technologie/informace-o-technologie/>)
- Obr. 7 Kladení vrstev ve fázi (Kutlak J., Počítačová animace struktury tkaninového kompozitu C/C, TU v Liberci, 2007)
- Obr. 8 Kladení vrstev mimo fázi (Kutlak J., Počítačová animace struktury tkaninového kompozitu C/C, TU v Liberci, 2007)
- Obr. 9 Výroba tkaninového prepregu v impregnační lázni (www.havel-composite.cz)
- Obr. 10 Technologické značení vazeb, vazba plátňová (a), keprová (b) a atlasová (c) (Vopička S.: Disertační práce - Popis geometrie vyztužujícího systému tkaninových kompozitech, TU v Liberci, 2004)
- Obr. 11 Schéma výroby skleněných vláken (www.havel-composite.cz)
- Obr. 12 Závislost doby vytvrzení Lukosilu M130 na teplotě (http://www.pzservis.cz/izol_projektanti2/lucebni/lukosilx.htm)
- Obr. 13 Modul pružnosti E v závislosti na teplotě (Balík K. a kol. : Preparation and oxygen resistance of 2D composites based on E-glass, R-glass, and siloxanes, Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, 2003)
- Obr. 14 Modul pružnosti ve smyku, G, v závislosti na teplotě (Balík K. a kol. : Preparation and oxygen resistance of 2D composites based on E-glass, R-glass, and siloxanes, Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, 2003)
- Obr. 15 Ohybová tuhost R_m v závislosti na teplotě (Balík K. a kol. : Preparation and oxygen resistance of 2D composites based on E-glass, R-glass, and siloxanes, Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, 2003)

- Obr. 16 Hmotnostní ztráty kompozitu po oxidaci v 400 a 700 °C v [%](Balík K. a kol. : Preparation and oxygen resistance of 2D composites based on E-glass, R-glass, and siloxanes, Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, 2003)
- Obr. 17 Hmotnostní ztráty kompozit po oxidaci v 400 a 700 °C v [%] (Balík K. a kol. : Preparation and oxygen resistance of 2D composites based on E-glass, R-glass, and siloxanes, Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, 2003)
- Obr. 18 Modul pružnosti v závislosti na teplotách po oxidaci (Balík K. a kol. : Preparation and oxygen resistance of 2D composites based on E-glass, R-glass, and siloxanes, Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, 2003)
- Obr. 19 Ohybová tuhost R_m v závislosti na teplotách po oxidaci (Balík K. a kol. : Preparation and oxygen resistance of 2D composites based on E-glass, R-glass, and siloxanes, Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, 2003)
- Obr. 20 Mikro snímky příčných řezů kompozitů založených na R-skle a M130, teplotě 400 °C (a), 901, teplota 500 °C (b), 901, teplota 700 °C (c); 901, teplota 700 °C (Balík K. a kol. : Preparation and oxygen resistance of 2D composites based on E-glass, R-glass, and siloxanes, Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, 2003)
- Obr. 21 Přední část trupu malého sportovního letadla (<http://www.vanessaair.cz/>)
- Obr. 22 Výroba trupu malého letadla.s prostorem kolem posádky (<http://www.vanessaair.cz/>)
- Obr. 23 Skelet vozu Stenley (Michalík M, Výroba kompozitů, galerie obrázků, <http://www.kompozity-michalik.cz/?cube=galerie&c2=34>, citováno 15.4.2008)
- Obr. 24 Finální automobil (Michalík M, Výroba kompozitů, galerie obrázků, <http://www.kompozity-michalik.cz/?cube=galerie&c2=34>, citováno 15.4.2008)
- Obr. 25 Vyztužování potrubí (Archiv firmy Betosan s.r.o., www.betosan.cz, citováno dne 29.4.2008)
- Obr. 26 Zesílení železobetonového sloupu (Archiv firmy Betosan s.r.o., www.betosan.cz, (citováno dne 29.4.2008)